

ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ

УДК 330.45; 330.47

А.Ф. Шориков¹

*Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина,
г. Екатеринбург, Россия*

Е.В. Буценко²

*Уральский государственный экономический университет,
г. Екатеринбург, Россия*

В.А. Тюлюкин³

*Уральский государственный экономический университет,
г. Екатеринбург, Россия*

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ КОМПЬЮТЕРНАЯ СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ ИНВЕСТИЦИОННОГО АНАЛИЗА И ПРОЕКТИРОВАНИЯ⁴

Аннотация. Для успешной деятельности любого хозяйствующего субъекта в области инвестиционного проектирования необходимо иметь современный инструментарий управления его процессами. В статье обсуждаются вопросы разработки и создания интеллектуальной компьютерной системы поддержки принятия решений, позволяющей оптимизировать управление процессами инвестиционного анализа и проектирования. Целью данной работы является разработка и создание системы поддержки принятия решений для оптимизации управления процессами инвестиционного анализа и проектирования на основе анализа возможных направлений использования интеллектуальных систем. Разработка и создание такой системы основывается на технологиях компьютерных экспертных систем поддержки принятия решений, нейронных сетей, машинного обучения, а также моделях и методах сетевого экономико-математического моделирования. В работе рассмотрены основные этапы создания компьютерной экспертной системы для оптимизации управления процессами инвестиционного анализа и проектирования хозяйствующим субъектом. Приведены конкретные примеры разработки логических правил в продукционной и клаузуальной формах для базы знаний предлагаемой компьютерной экспертной системы. В работе выполнен анализ целесообразности выбора конкретных моделей и технологий, подходящих для создания предлагаемой интеллектуальной системы. Представлены результаты, свидетельствующие об эффективности ее применения в практической деятельности хозяйствующих субъектов при оптимизации управления процессами инвестиционного анализа и проектирования. Дальнейшие направления развития данной темы могут быть направлены на применение различных архитектур нейронных сетей для решения многих практических задач инвестиционного анализа и проектирования, а также на использование больших объемов экономической информации, пригодной для нейросетевой обработки.

Ключевые слова: интеллектуальные системы; инвестиционное проектирование; компьютерные экспертные системы; продукционные правила; клаузуальная форма; сетевые модели и методы.

Актуальность исследования

Современная экономическая наука по своей инструментальной базе отстает от естественных и технических наук на несколько

лет. Большинство экономистов не применяют в своей практике методов математического моделирования в том объеме, как это делают математики, физики и инженеры. Чаше все-

го, вместо того чтобы создавать приемлемые для исследования экономико-математические модели для своих проектов и выявлять на них эффективные значения различных показателей, экономисты делают только конкретные расчеты и наблюдают за частными реализациями проектов. Это метод экспериментирования, а не моделирования. В XX в. в качестве инструментария исследований стал активно развиваться метод физического моделирования, а затем его вытеснил дающий большие возможности для анализа объектов и процессов, а также требующий меньших затрат – метод математического моделирования. Обычно сначала создают математические модели реальных объектов или процессов, выполняют на математических моделях виртуальные компьютерные эксперименты, вычисляют оптимальные (или приемлемые) значения значимых для исследования параметров, а потом уже делают выводы и принимают реальные действия.

Методы математического моделирования, использующие различные математические структуры для описания поведения исследуемых объектов и основанные на

решении чисто математических задач, соответствующих исходным практическим задачам, долгое время были недоступны для применения в области экономических наук, и инвестиционного проектирования в частности, ввиду сложности самих объектов моделирования.

Важными математическими структурами, применяемыми в качестве инструментария математического моделирования, являются *искусственные нейронные сети (ИСН)*. Порожденные ими новые *нейросетевые технологии (НСТ)* позволяют преодолеть многие проблемы экономико-математического моделирования процессов инвестиционного анализа и проектирования, не прибегая к решению сложных математических задач. Эти технологии позволяют строить нейросетевые математические модели для инвестиционных процессов, основываясь на одних только статистических данных, и выполнять над моделями компьютерные эксперименты – виртуально менять значимые параметры проектов и численно оценивать соответствующие последствия для исследуемых процессов на ближайшую и отдаленную перспективу, т. е. реализовать в полной мере сценарное прогнозирование.

Следует отметить, что сценарное прогнозирование методом замораживания (т. е. изменяя один или несколько входных параметров, оставляя остальные параметры неизменными) имеет определенные особенности. Дело в том, что в экономической действительности входные параметры моделируемого объекта имеют между собой сложные корреляционные взаимозависимости, и при изменении одного из входных параметров другие параметры тоже должны быть изменены согласно этим зависимостям. Например, в стране возрастает инфляция и, следовательно, изменяются результаты эффективности рассматриваемого инвестиционного проекта. Причем такие

¹ Шориков Андрей Федорович – доктор физико-математических наук, профессор кафедры прикладной математики Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия (620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19); e-mail: afshorikov@mail.ru.

² Буценко Елена Владимировна – кандидат экономических наук, доцент кафедры бизнес-информатики Уральского государственного экономического университета, г. Екатеринбург, Россия (620144, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта, 62); e-mail: evl@usue.ru.

³ Тюлюкин Владимир Александрович – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры бизнес-информатики, Уральского государственного экономического университета, доцент кафедры региональной экономики, инновационного предпринимательства и безопасности Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия (620144, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта, 62); e-mail: tul@mail.ru.

⁴ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 17-01-00315).

зависимости, как правило, заранее неизвестны, и поэтому учесть их существование и заложить в формируемую математическую модель очень трудно.

Эта особенность и является причиной того, что в мировой экономической литературе по инвестиционному анализу и проектированию, несмотря на возросший интерес к методам *искусственного интеллекта (ИИ)*, отсутствуют сообщения о применении для их математического моделирования НСТ.

В связи с вышесказанным, безусловно актуальным является создание и применение моделей ИИ и НСТ для анализа и исследования процессов инвестиционного проектирования, позволяя в перспективе разрабатывать и создавать соответствующие новые инструментальные средства. Переход к экспериментированию на математических моделях с рассматриваемыми инвестиционными процессами позволит инвесторам и аналитикам на созданных соответствующих математических моделях рассматриваемых процессов проводить виртуальные компьютерные эксперименты, а также подбирать наиболее эффективные (или оптимальные) параметры вложения имеющихся материальных и финансовых средств. При этом инвестиционный анализ и проектирование обладают свойством отображать состояние экономики при изменении показателей ее развития.

В рыночной экономике процесс инвестиционного проектирования является неотъемлемой частью функционирования любого хозяйствующего субъекта и для его успешной деятельности необходимо иметь в качестве инструментария современную интеллектуальную компьютерную систему поддержки принятия решений для оптимизации управления процессами инвестиционного анализа и проектирования. Система поддержки принятия управленческих решений при реализации инвестиционных

проектов хозяйствующего субъекта относится к сложной ИТ-системе, предусматривающей разработку на основе соответствующих экономико-математических моделей и методов.

Целью данной работы является анализ возможных направлений использования интеллектуальных систем для разработки и создания системы поддержки принятия решений для оптимизации управления процессами инвестиционного анализа и проектирования.

Для достижения поставленной цели необходимо последовательно решить следующие основные задачи:

- 1) провести анализ существующих программных средств в области инвестиционного анализа и проектирования;
- 2) провести анализ существующих моделей и методов разработки и создания интеллектуальных систем, а именно компьютерных экспертных систем, нейронных сетей и методов машинного обучения, на основе которых может быть создана интеллектуальная система поддержки принятия решений для оптимизации управления процессами анализа и управления инвестиционным проектированием;
- 3) на основе проведенного анализа существующих программных средств, сформировать программный инструментарий для разработки и создания интеллектуальной системы;
- 4) на основе данных проведенного анализа моделей и методов разработки и создания интеллектуальных систем разработать технологию разработки и создания интеллектуальной системы поддержки принятия решений для оптимизации управления процессами анализа и управления инвестиционным проектированием.

Анализ программных средств в области инвестиционного проектирования (FinModel Expert, ФинЭкАнализ, Альт-Инвест, Project Expert и др.) показал, что в

данной предметной области на российском рынке существуют компании, оказывающие услуги по инвестиционному консалтингу и решениям для развития бизнеса [1]. Разработанные этими компаниями программные средства значительно упрощают процесс оценки инвестиционной привлекательности бизнеса, и с помощью таких средств можно осуществлять детальное моделирование будущих денежных потоков, проводить анализ возможных альтернатив и вычислять различные финансовые показатели. В основе этих программных средств лежит комплексный подход ЮНИДО, и все они достаточно близки по функциональным возможностям, качеству программной реализации, удобству пользовательского интерфейса и другим критериям.

Отметим, что в основе всех необходимых экономических расчетов лежат исходные данные, от правильности и точности которых зависит конечный результат. Например, необходимо вводить информацию о планируемом объеме продаж, при этом всегда существует вероятность того, что реальные объемы продаж будут значительно отличаться от их планируемых значений. Возможные изменения необходимо предвидеть и тщательно контролировать, т. к. их появление может привести к нежелательным результатам при прогнозировании результатов для рассматриваемого инвестиционного проекта. Кроме того, ни одно из них не предусматривает адаптацию к конкретной задаче инвестиционного проектирования и оптимизации исследуемых процессов, а также не использует технологий разработки и создания интеллектуальных систем. Поэтому разработка программной системы, учитывающей все эти факторы, могла бы повысить качество принимаемых управленческих решений при реализации процессов инвестиционного анализа и проектирования.

Инвестиционный анализ и проектирование рассматривается в качестве объекта

исследований большим кругом зарубежных и отечественных авторов. При этом существующее многообразие методических подходов к управлению инвестиционным проектированием обосновывается прежде всего значительным количеством факторов, влияющих на реализацию инвестиционной деятельности. Так, некоторые авторы рассматривают объем инвестиций как предикат инвестиционного развития хозяйствующего субъекта [2]. Ряд исследователей акцентирует внимание на изучении индекса доходности инвестиций [3]. Значительное число авторов рассматривают и оценивают факторы окупаемости и дисконтирования как основные для анализа инвестиционных проектов [4]. При этом управление инвестиционным проектированием исследуется как в академической среде российских ученых [1–4], так и их зарубежными коллегами [5–7].

Степень изученности проблемы

Известно, что для приобретения новых знаний о предмете исследования и прогнозирования его поведения в будущем, необходимо тщательно изучить его прошлое. Есть мнение, что история искусственного интеллекта, к которому относятся и интеллектуальные программные системы, началась с изобретения в XIII веке Раймундом Луллием механической экспертной системы, способной составлять гороскопы, ставить медицинские диагнозы, делать прогнозы на урожай, оказывать юридические консультации [8]. Интеллектуальная система Р. Луллия в свое время пользовалась большой популярностью у современников. Посмотреть на чудо техники и чтобы получить для себя полезные советы, к Р. Луллию приходили люди издалека. Однако на протяжении последующих семи веков скольконибудь значительных событий в истории развития искусственного интеллекта не наблюдалось.

Следующий этап развития искусственного интеллекта пришелся на середину XX в. Он начался с изобретения У. МакКаллоком и У. Питтсем математической модели нейрона и создания Ф. Розенблаттом ИНС, способной распознавать буквы латинского алфавита. Развитие нового научного направления было поддержано правительством США и на него возлагались особые надежды военных в части создания нейросетевой системы распознавания «свой – чужой» для авиационной и ракетной техники, имеющей важное стратегическое значение в связи начавшимся Карибским кризисом.

Кроме политиков и военных, возможностями НСТ заинтересовались бизнесмены и медики. Первых заинтересовали возможности предсказания котировок акций и курсов валют, вторых – автоматическая интерпретация данных электрокардиограмм и показаний других медицинских приборов. В научные программы по развитию НСТ были вовлечены серьезные исследовательские лаборатории, опытные специалисты и перспективные молодые ученые. Однако, несмотря на солидные финансовые вложения и энтузиазм исследователей, заявленным прогнозам в области НСТ было не суждено сбыться. В этот период исследователи не смогли преодолеть «проблему исключяющего или», из-за чего процессы обучения нейронных сетей не давали необходимой для практики точности.

Когда стало ясно, что большинство проектов в области развития НСТ зашли в тупик и деньги налогоплательщиков и бизнесменов истрачены напрасно, общественность объявила нейронные сети «тупиковым научным направлением» [9]. Популярность научно-исследовательских работ по НСТ и ИНС резко упала. К концу 1970-х гг. начали появляться проекты по созданию компьютерных экспертных систем, предназначенных для медицинской и технической диагностики, обучения, прогнозирования, распознавания

образов и для решения других сложных интеллектуальных задач. Это был третий этап развития искусственного интеллекта, который закончился в начале девяностых, когда многие компании не смогли оправдать завышенных ожиданий и лопнули.

Очередной этап в развитии интеллектуальных систем мы наблюдаем в последние два десятилетия. Его предпосылками явились работы советских (А.И. Галушкин, А.С. Зак, Б.В. Тюхов, В.А. Ванюшин и др.) и американских (П. Вербос, Д.Е. Руммельхардт и др.) исследователей, которые почти одновременно и независимо друг от друга изобрели алгоритмы обучения многослойных нейронных сетей и таким образом решили «проблему исключяющего или» [10–12]. Именно благодаря их трудам на протяжении последних 15–20 лет один за другим появляются сообщения об успешном применении НСТ технологий в промышленности, экономике, медицине, военном деле, политологии, социологии, криминалистике, психологии, педагогике и в других предметных областях деятельности человека.

Наиболее известными разработками в области ИИ являются следующие ИИ-системы: система компьютерного зрения Alvin для автономного управления автомобилем; DART (Dynamic Analysis and Replanning) – система обеспечения автоматизированного планирования поставок и составления графиков перевозок; HipNav – система для микрохирургии, в которой используются методы компьютерного зрения для создания трехмерной модели анатомии внутренних органов пациента; MYCIN – для диагностики бактерий тяжелых инфекций и рекомендаций необходимого для лечения количества антибиотиков; Ken-sho – платформа аналитики рынка, которая объединяет статистические вычисления с большими данными и обработкой естественного языка и др.

Необходимо отметить, что при всем многообразии успешных применений ИНС и НСТ на сегодняшний день не существует доказанных утверждений и основанных на них методик, с помощью которых для каждой конкретной задачи можно было бы сгенерировать оптимальную нейронную сеть, обеспечивающую ее решение с заданной точностью.

Методика исследования

В качестве инструментария экономико-математического моделирования решения задачи оптимизации управления процессом инвестиционного проектирования предлагается использовать результаты работ в области сетевого моделирования экономических систем, а также модели и методы теории искусственного интеллекта, а именно – технологии разработки и создания компьютерных экспертных систем поддержки принятия управленческих решений, нейронных сетей, а также машинного обучения [1, 13–15].

Как уже отмечалось выше, в последние два десятилетия в мире бурно развивается новая прикладная область математики, специализирующаяся на ИНС. Большой объем исследований в этом направлении подтверждается массой различных применений ИНС. Это и автоматизация процессов распознавания образов, и адаптивное управление, и аппроксимация функционалов, а также прогнозирование, создание экспертных систем, организация ассоциативной памяти и многие другие приложения. С помощью ИНС можно, например, предсказывать показатели биржевого рынка, выполнять распознавание оптических или звуковых сигналов, создавать самообучающиеся системы, способные управлять автомашиной при парковке или синтезировать речь по тексту. В настоящее время в западных и отечественных фирмах, разрабатывающих компьютерное программное

обеспечение, НСТ широко используются в качестве инструментария для создания коммерческих программных систем.

Широкий круг задач, связанных с разработкой *интеллектуальных программных систем* и решаемых при помощи НСТ, не позволяет в настоящее время создавать универсальные мощные ИНС, вынуждая разрабатывать специализированные ИНС, функционирующие по различным алгоритмам, учитывающим специфику исходных проблем.

Исторически сложились три основных направления в моделировании систем ИИ.

В рамках первого подхода в качестве объекта исследований изучается структура и механизмы работы мозга человека, а конечная цель заключается в раскрытии механизмов мышления. Необходимыми этапами исследований в этом направлении являются построение моделей функционирования мозга на основе психофизиологических данных, проведение экспериментов с ними, выдвижение новых гипотез относительно механизмов интеллектуальной деятельности, совершенствование моделей и т. д.

Второй подход в качестве объекта исследования рассматривает ИИ и применяет моделирование интеллектуальной деятельности человека с помощью компьютерных систем. Основной целью работ в этом направлении является создание алгоритмического и программного обеспечения для компьютерных систем, позволяющего решать интеллектуальные задачи на уровне человека, который является профессионалом в рассматриваемой предметной области.

Третий подход ориентирован на создание комбинированных человеко-машинных, или, как еще говорят, гибридных интеллектуальных систем, реализующих симбиоз возможностей естественного и искусственного интеллекта. Важнейшие проблемы в этих исследованиях – это оптимальное распределение функций между

естественным и искусственным интеллектом и организация диалога между человеком и компьютерной системой.

Для создания интеллектуальной системы оптимизации управления процессами инвестиционного анализа и проектирования необходима разработка базы знаний, которая может быть создана различными способами (рис. 1). Одним из них являются продукционные логические правила, которые устанавливают отношения между данными и фактами с целью получения логических выводов [1, 16]. Другим способом – логические правила, записанные в клаузуальной форме. Кроме того, знания

могут быть представлены с помощью линейных моделей, нейронных сетей, а также деревьев решений и др.

На рис. 2 представлены некоторые модели формализации данных, в которых кругами отмечены возможные характеристики инвестиционных проектов.

Пример базы знаний компьютерной экспертной системы поддержки принятия решения для оптимизации управления процессами инвестиционного анализа и проектирования представлен авторами в работе [13]. В базе данных представлены исходные данные и основные цели для реализации конкретного процесса инвестиционного анали-

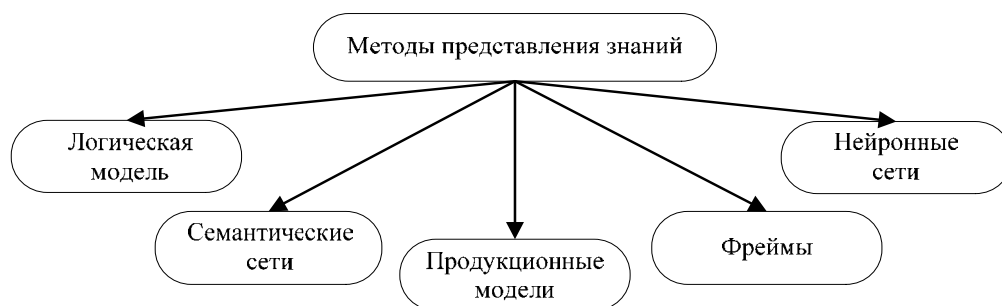


Рис. 1. Способы формализации данных в базе знаний инвестиционного анализа и проектирования

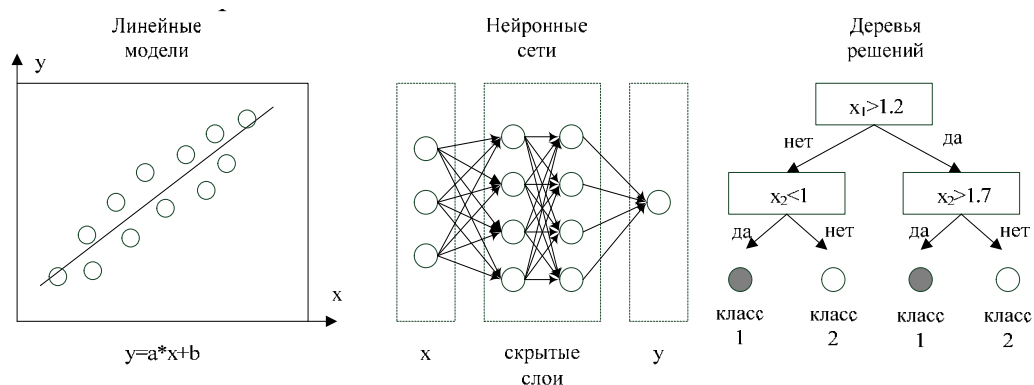


Рис. 2. Модели формализации знаний для разработки системы поддержки принятия решений для оптимизации управления процессами инвестиционного анализа и проектирования

за и проектирования. С учетом поставленных целей, имеющихся данных, критериев качества реализации процессов инвестиционного анализа и проектирования, сформированных в базе знаний фактов и логических правил, с помощью подсистемы вывода, сопрягающей базу данных и базу знаний, происходит выбор оптимального или приемлемого инвестиционного проекта.

База данных содержит несколько сотен правил инвестиционного анализа и проектирования. Для примера приведем некоторые правила рассматриваемой системы в виде «если..., то», т. е. в виде продукционных правил.

1. Если размер инвестиции $> 1\ 000\$$; ставка дисконтирования 9,2 %; планируемый срок инвестирования 1 год; внутренняя норма доходности 0–7 %; срок окупаемости менее 1 года; дисконтированный индекс доходности 1,02–1,07, то «Проект 1».

2. Если размер инвестиции $> 1\ 000\$$; ставка дисконтирования 9,2 %; планируемый срок инвестирования 1 год; внутренняя норма доходности 0–7 %; срок окупаемости от 1 до 2 лет; дисконтированный индекс доходности 1,02–1,07, то «Проект 1».

3. Если размер инвестиции $> 1\ 000\$$; ставка дисконтирования 9,2 %; планируемый срок инвестирования 1 год; внутренняя норма доходности 0–7 %; срок окупаемости от 2 до 3 лет; дисконтированный индекс доходности 1,02–1,07, то «Проект 1».

4. Если размер инвестиции $> 1\ 000\$$; ставка дисконтирования 9,2 %; планируемый срок инвестирования 2 года; внутренняя норма доходности 0–7 %; срок окупаемости менее 1 года; дисконтированный индекс доходности 1,02–1,07, то «Проект 1».

5. Если размер инвестиции $> 1\ 000\$$; ставка дисконтирования 9,2 %; планируемый срок инвестирования 2 года; внутренняя норма доходности 0–7 %; срок окупаемости от 1 до 2 лет; дисконтированный индекс доходности 1,02–1,07, то «Проект 1».

6. Если размер инвестиции $> 1\ 000\$$; ставка дисконтирования 9,2 %; планируемый срок инвестирования 3 года; внутренняя норма доходности 0–7 %; срок окупаемости от 2 до 3 лет; дисконтированный индекс доходности 1,02–1,07, то «Проект 1».

7. Если размер инвестиции $> 1\ 000\$$; ставка дисконтирования 9,2 %; планируемый срок инвестирования 3 года; внутренняя норма доходности 0–7 %; срок окупаемости менее 1 года; дисконтированный индекс доходности 1,02–1,07, то «Проект 1».

8. Если размер инвестиции $> 1\ 000\$$; ставка дисконтирования 9,2 %; планируемый срок инвестирования 3 года; внутренняя норма доходности 0–7 %; срок окупаемости от 1 до 2 лет; дисконтированный индекс доходности 1,02–1,07, то «Проект 1».

9. Если размер инвестиций $> 1\ 000\$$; ставка дисконтирования 14,5 %; планируемый срок инвестирования 3 года; внутренняя норма доходности 7–9 %; срок окупаемости от 2 до 3 лет; дисконтированный индекс доходности 1,02–1,07, то «Проект 2».

10. Если размер инвестиций $> 1\ 000\$$; ставка дисконтирования 14,5 %; планируемый срок инвестирования 1 год; внутренняя норма доходности 12–15 %; срок окупаемости менее 1 года; дисконтированный индекс доходности 1,02–1,07, то «Проект 4».

Для оптимизации управления процессами инвестиционного анализа и проектирования разработана общая схема сетевой экономико-математической модели инвестиционного анализа и проектирования, представленная авторами в работе [1]. Приведем описание основных этапов/блоков операций-работ при реализации процессов инвестиционного анализа и проектирования:

1) сбор исходных данных для каждого из рассматриваемых инвестиционных проектов;

2) маркетинговый анализ проектов;

3) финансовый анализ (расчет финансовых показателей) проектов;

4) анализ неопределенности/чувствительности (влияния рисков на проекты);

5) построение финансовой модели для каждого инвестиционного проекта;

6) формирование альтернативных вариантов условий реализации проектов;

7) анализ полученных результатов и выбор оптимального инвестиционного проекта/набора проектов.

Отметим, что формирование продукционных правил в компьютерной экспертной системе поддержки принятия решений для оптимизации управления процессами инвестиционного анализа и проектирования является длительным и трудозатратным делом, а сами правила сложно поддерживать в актуальном состоянии. Поэтому, если имеется уже собранная статистика и набор наблюдений о реализованных проектах, то для этих целей можно разработать модель искусственной интеллектуальной системы, используя, например, технологию нейронных сетей [1; 17, с. 47–62; 18].

Технология нейронных сетей предполагает обработку специальным образом на основе соответствующей модели множества входных данных и формирование выходного результата. Каким образом многочисленные входящие сигналы формируются в выходящий, определяют алгоритм вычисления. На каждый вход нейрона подаются значения показателей инвестирования, которые затем распространяются по межнейронным связям (синапсам). При этом у каждого синапса есть соответствующий ему числовой параметр – вес, благодаря которому входная информация изменяется при переходе от одного нейрона к другому. Информация того нейрона, вес которого больше, будет доминирующей в следующем нейроне (рис. 3).

Отметим, что основным преимуществом нейросетей над обычными математическими алгоритмами решения конкретной задачи является возможность их обучения.

Обучение нейронной сети реализуется путем формирования более точных коэффициентов связи между нейронами, а также в обобщении данных и выявлении сложных зависимостей между входными и выходными сигналами. Фактически удачное обучение нейросети означает, что ее применение позволяет сформировать достаточно точный результат решения рассматриваемой задачи на основании данных, отсутствующих в обучающей выборке.

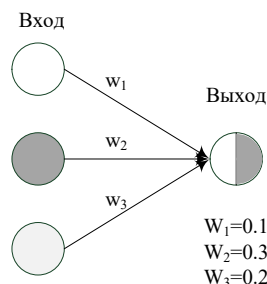


Рис. 3. Преобразование входной информации в нейроне в выходную информацию с использованием весовых коэффициентов

В рассматриваемой в статье задаче имеется набор точек на плоскости (инвестиционные проекты), часть из которых темная – эффективные проекты, а часть светлая – неэффективные проекты. Тогда с помощью модели нейросети эти точки необходимо разделить. На рис. 4 показан пример разделения рассматриваемого набора инвестиционных проектов, где цвет точки обозначает соответствующее качество проекта: «эффективный»/«неэффективный» – «темный»/«светлый».

Нейросети позволяют успешно моделировать существующие сложные зависимости в данных. Во многом по этой причине сегодня они являются одной из наиболее применяемых моделей для создания искусственных интеллектуальных систем, так как показывают высокое качество решения различных прикладных задач [19–21].

Анализ полученных результатов

Рассматривается задача поиска эффективных (оптимальных) инвестиционных проектов среди всего набора имеющихся проектов.

Последовательность операций-работ в соответствующей сетевой модели [1] можно представить следующим образом: выбор цели инвестирования, выбор наиболее важных критериев инвестирования, определение возможных дополнительных функций для анализа рассматриваемых проектов, формирование набора эффективных (оптимальных) проектов.

Для наглядности рассмотрим только два показателя для каждого инвестиционного проекта: объем инвестиций – x_1 и срок окупаемости инвестиций – x_2 . Точка-метка темного цвета ● обозначает эффективный инвести-

ционный проект, светлого цвета ○ – неэффективный инвестиционный проект.

Отметим, что в компьютерной экспертной системе необходимо использовать все показатели, которые пользователь сочтет необходимыми для процессов инвестиционного анализа и проектирования. При этом всю исходную информацию можно комбинировать в любых сочетаниях.

На рис. 5 приведен график, на котором показан объем инвестиций в проект и срок окупаемости, а соответствующими точками-метками является проект эффективным или нет.

Одним из основных элементов разработки и главной трудностью применения нейросетевого моделирования является процесс обучения конкретной нейронной сети. Функционирование объекта в дина-

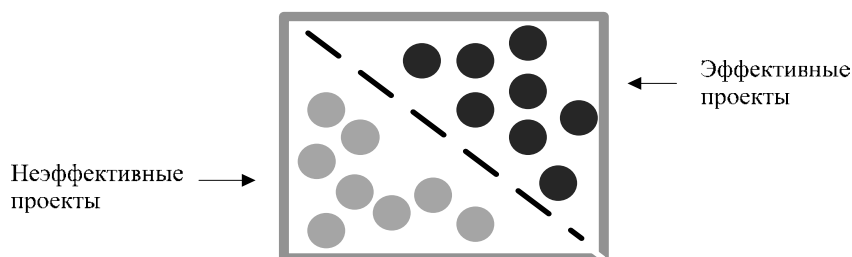


Рис. 4. Пример разделения инвестиционных проектов с помощью нейросети

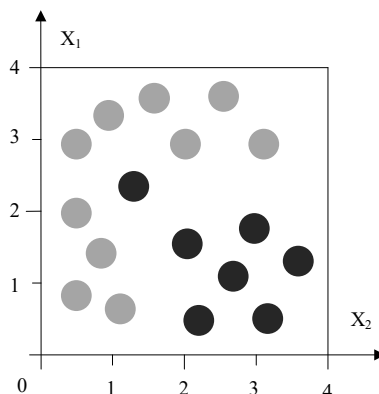


Рис. 5. Данные инвестиционного проектирования для обучения нейросети

мически изменяющейся среде, например в финансовой, является большим препятствием для решения связанных с ним задач в рамках соответствующей нейронной сети. Даже при успешном обучении сети нет гарантии, что она будет формировать приемлемое решение для всех задач из рассматриваемой предметной области. Финансовые рынки постоянно трансформируются, поэтому сеть может «сломаться». Поэтому необходимо или использовать разнообразные архитектуры сетей и выбирать из них лучшую, или использовать динамическую нейронную сеть. Описание процесса обучения нейронной сети в достаточно общих случаях содержится, например, в работах [22; 23, с. 54–69].

Предлагаемая для использования в компьютерной экспертной системе нейронная сеть представляет собой адаптивную систему, способную изменять свою внутреннюю структуру на базе поступающей информации. При этом процесс обучения сети реализуется с помощью корректировки значений весов нейронов.

Вес нейрона – конкретное число, соответствующее степени сходства обрабатываемой информации с информацией, хранящейся в памяти компьютерной программы. В результате обработки данных формируется набор нейронов, каждый из которых несет определенную информацию о степени сходства. Эта информация описывается соответствующим значением веса нейрона. При этом чем больше значение веса нейрона, тем вероятнее, что именно факт (утверждение, суждение, высказывание), соответствующий этому нейрону является истинным. Таким образом, на основании максимального значения веса нейрона компьютерная программа сможет определить, является ли инвестиционный проект эффективным или неэффективным.

В начальный период использования нейронная сеть не сможет правильно оце-

нить рассматриваемый инвестиционный проект на предмет его эффективности, поэтому разрабатывается соответствующий алгоритм обучения сети. Содержательный смысл обучения нейронной сети заключается в следующем. Если входное допустимое значение какого-то конкретного показателя эффективности инвестиционного проекта в памяти соответствующего нейрона отсутствует, но оно должно присутствовать, то компьютерная программа его запоминает. При реализации дальнейшего обучения нейронной сети степень влияния данного показателя на формирование результата оценивания эффективности инвестиционного проекта будет только увеличиваться.

Компьютерная программа, реализующая алгоритм оценки инвестиционных проектов, является частью приложения, решающего задачи оптимизации управления процессами инвестиционного анализа и проектирования. Это приложение основано на описанной выше базе знаний, которая содержит модели знаний в области инвестиционного анализа и проектирования в виде соответствующих продукционных правил и нейронной сети.

В базе данных разрабатываемой компьютерной экспертной системы все данные поделены на две части. Первая часть содержит данные показателей инвестиционных проектов, которые используются как входные данные для продукционных правил и для обучения нейронной сети, а вторая, тестовая, часть содержит те же показатели, но с другими значениями. Вторая часть данных используется для тестирования и оценки эффективности функционирования сформированной нейронной сети.

Все показатели рассматриваемых процессов задаются соответствующей входной матрицей, описывающей последовательности их возможных значений. В наборе входных данных такая матрица представляется в виде последовательности соответствующих строк.

В качестве разделителя между строками используется символ *. Например, все допустимые значения показателя объема инвестиций могут задаваться следующей строкой:

50000×100000×150000×300000×
×450000×600000×750000×1000000×
×1250000×1500000×1750000×2000000×
×2500000×3000000×4000000×5000000×
×6000000×7000000×8000000×
×10000000 и т.д.

Тогда рассматриваемая задача оценки инвестиционного проектирования состоит в следующем: зная эффективные показатели вложения инвестиций, обучить нейронную сеть, а затем совместно с имеющимся набором продукционных правил использовать ее для оценки как тестовых проектов, так и рассматриваемых реальных проектов.

Для решения задачи обучения нейронной сети может быть использован, например, метод обратного распространения ошибки с использованием логистической функции [24, 25].

В нашем примере обученная нейронная сеть разделила рассматриваемые проекты пунктирной границей, как показано на рис. 6. Все проекты разделены на два класса – класс эффективных инвестиционных проектов и класс неэффективных инвестиционных проектов, при этом ошибок – 0.

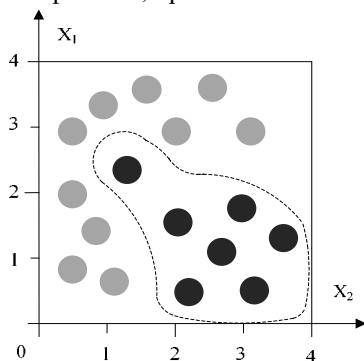


Рис. 6. Пример результата работы нейронной сети для инвестиционного анализа и проектирования

Основные выводы

К основным вопросам представления знаний относятся следующие: какую информацию необходимо хранить и как эту информацию представить физически для ее последующего использования? При этом нужно отметить, что, исходя из самой природы знаний, способ их представления определяется целью, поставленной разработчиком интеллектуальной системы. Относительно реальных приложений созданных интеллектуальных систем можно утверждать, что успех их применения во многом зависит от качественно и удобного для использования представления знаний. Это касается и ИНС, представляющих собой отдельный класс интеллектуальных систем. Форма представления входных сигналов может быть самой разной и это приводит к тому, что разработка приемлемых нейросетевых решений становится творческим процессом.

Отметим, что применение нейронных сетей требует больших трудозатрат. При этом для разработки, обучения и тестирования нейросетей необходимы большие вычислительные мощности. Нейронные сети – это лишь инструмент для моделирования интеллектуальной деятельности. Предлагаемая компьютерная экспертная система может быть реализована с помощью высокоуровневых языков программирования C++, C#, Java, JavaScript, Python, PHP, Delphi и др.

Подведем итоги применения продукционных правил и нейросетевого моделирования для разработки интеллектуальной системы поддержки принятия решений для оптимизации управления процессами инвестиционного анализа и проектирования в форме компьютерной экспертной системы.

Проведенный анализ показал, что современные компьютерные программные системы, предназначенные для оценки результатов инвестиционного проектирования

ния, используют только один конкретный алгоритм и не способны самообучаться. Поэтому при смене рыночной ситуации приходится отказываться от применения таких систем или модифицировать используемые в них алгоритмы. При этом даже в процессе штатного использования такой системы она может неправильно оценивать многие проекты, так как рыночная ситуация очень изменчива и может не соответствовать используемому в системе алгоритму.

В данной работе проведен анализ возможностей использования продукционных правил и нейросетового моделирования знаний с целью разработки и создания интеллектуальной системы поддержки принятия решений для оптимизации управления процессами инвестиционного анализа и проектирования в форме компьютерной экспертной системы.

Таким образом, в работе описана разработка компьютерной интеллектуальной системы поддержки принятия решений для оптимизации управления процессами инвестиционного анализа и проектирования на основе технологий экспертных систем и моделирования знаний с помощью продукционных правил и нейронных сетей (нейро-экспертная система). Проведена апробация полученных результатов на модельных примерах, результаты которой доказывают эффективность ее создания и применения. Использование разрабатываемой интеллектуальной компьютерной системы позволит иметь в распоряжении хозяйствующего субъекта эффективный инструмент для оценки возможностей реализации различных производственных и коммерческих инвестиционных проектов.

Список использованных источников

1. Шориков А.Ф., Буценко Е.В. Прогнозирование и оптимизация результата управления инвестиционным проектированием. М.: Ленанд, 2017. 272 с.
2. Буркальцева Д.Д., Гук О.А., Филатова О.В., Бондарь А.П. Направления развития менеджмента инвестиций // Экономика и менеджмент в условиях нелинейной динамики / А.А. Акимченко, А.А. Алетдинова и др. СПб.: Санкт-Петербургский политех. ун-т Петра Великого, 2017. С. 615–664.
3. Кричевский М.Л. Прикладные задачи менеджмента. М.: Креативная экономика, 2018. 210 с.
4. Станиславчик Е.Н. Бизнес-план: Управление инвестиционными проектами. М.: Ось-89, 2009. 128 с.
5. Силбигер С. MBA за 10 дней. Самое важное из программ ведущих бизнес-школ мира. М.: Альпина Паблишер, 2017. 390 с.
6. Арчибальд Р.Д. Управление высокотехнологичными программами и проектами / пер. с англ. Е.В. Мамонтова ; под ред. А.Д. Баженова, А.О. Арефьева. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Компания АйТи ; ДМК Пресс, 2010. 464 с.
7. Хиггинс Р.С., Раймерс М. Финансовый менеджмент. Управление капиталом и инвестициями. М.: Вильямс, 2013. 464 с.
8. Combinatorics: Ancient & Modern / ed. by R. Wilson, J.J. Watkins. Oxford University Press, 2013. 392 p.
9. Эндрю А. Искусственный интеллект. М.: Мир, 1985. 265 с.
10. Werbos P. Beyond Regression: New Tools for Prediction and Analysis in the Behavioral Sciences. Phd Thesis. Harvard University, Cambridge, 1974.
11. Rummelhart D.E., Hilton G.E., Williams R.J. Learning internal representations by error propagation //

- Parallel Distributed Processing. Exploration of the Microstructure of Cognition / ed. by D.E. Rumelhart, J.L. McClelland. MIT Press, 1986.
12. Fukushima K. Neocognitron: A Self-Organizing Neural Network for a Mechanism of Pattern Recognition Unaffected by Shift in Position // Biological Cybernetics. 1980. Vol. 36, No. 4. P. 193–202.
 13. Шориков А.Ф., Буценко Е.В. Экспертная система инвестиционного проектирования // Прикладная информатика. 2013. № 5 (47). С. 96–103.
 14. Shorikov A.F., Butsenko E.V. Network Models for Solving the Problem of Multicriterial Adaptive Optimization of Investment Projects Control with Several Acceptable Technologies // Application of Mathematics in Technical and Natural Sciences: 9th International Conference for Promoting the Application of Mathematics in Technical and Natural Sciences, AMiTaNS 2017. Vol. 1895. American Institute of Physics Inc., 2017.
 15. Ясницкий Л.Н. Интеллектуальные системы. М.: Лаборатория знаний, 2016. 221 с.
 16. Шориков А.Ф., Буценко Е.В., Крылов В.Г. Компьютерная экспертная система бизнес-планирования // Прикладная информатика. 2016. Т. 11, № 5 (65). С. 8–18.
 17. Шайтура С.В. Нейронные сети // Интеллектуальные системы и технологии. Бургас: Институт гуманитарных наук, экономики и информационных наук, 2016. 83 с.
 18. Люгер Д.Ф. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем. М.: Вильямс, 2005. 864 с.
 19. Абрамов В.Л., Логинов Е.Л., Чиналиев В.У. Использование элементов искусственного интеллекта для оптимизации кооперационных цепочек воспроизводства добавленной стоимости в промышленности в условиях цифровой экономики: мировой опыт и перспективы России. М.: Научные технологии, 2018. 287 с.
 20. Современные информационные технологии в управлении сложными социально-экономическими системами : монография / Г.Д. Нестеров, Н.С. Нестерова, К.Н. Цебренько, Р.З. Камалаян и др.. Краснодар: Новация, 2018. 115 с.
 21. Sauter V.L. Decision Support Systems for Business Intelligence. 2nd Edition. John Wiley & Sons, 2012. 453 p.
 22. Калан Р. Основные концепции нейронных сетей. М.: Вильямс, 2001. 288 с.
 23. Емельянов В.А., Емельянова Н.Ю. Теоретические основы построения и обучения гибридных интеллектуальных систем // Актуальные вопросы технических наук: теоретический и практический аспекты. Коллективная монография. Уфа: ООО «Аэтерна», 2016. 192 с.
 24. Тим М. Программирование искусственного интеллекта в приложениях. Саратов: Профобразование, 2017. 310 с.
 25. Барцев С.И., Охонин В.А. Адаптивные сети обработки информации. Препринт № 59Б. Красноярск: Ин-т физики СО АН СССР, 1986. 20 с.

Shorikov A.F.*Ural Federal University**named after the first President of Russia B.N. Yeltsin,**Ekaterinburg, Russia***Butsenko E.V.***Urals State University of Economics,**Ekaterinburg, Russia***Tyulyukin V.A.***Urals State University of Economics,**Ekaterinburg, Russia*

INTELLIGENT COMPUTER SYSTEM OF DECISION SUPPORT FOR OPTIMIZING THE CONTROL OF INVESTMENT ANALYSIS PROCESSES AND PROJECTING

Abstract. For the successful operation of any business entity in the field of investment projecting, it is necessary to have a modern control tool for its processes. The article discusses the issues of development and creation of an intelligent computer system for decision support that allows one to optimize the control of investment analysis and projecting processes. The purpose of this work is to develop and create a decision support system for optimizing the control of investment analysis and projecting processes based on analysis of possible areas of use of intelligent systems. The development and creation of such a system is based on the technologies of computer expert decision support systems, neural networks, machine learning, as well as models and methods of network economic and mathematical modeling. In the paper, the basic stages of the creation of computer expert systems for optimization of control by processes of the investment analysis and projecting by the organization are considered. Specific examples of the development of logical rules in the production and clausal forms for the knowledge base of the proposed computer expert system are given. The work analyzes the feasibility of selecting specific models and technologies suitable for creating the proposed intellectual system. The presented results testify to the effectiveness of its application in the practical activities of economic entities when optimizing the control of investment analysis and projecting processes. This topic can be further developed in the directions of the application of various architectures of neural networks to solve many practical problems of investment analysis and projecting, as well as the use of large amounts of economic information suitable for neural network processing.

Key words: intellectual systems; investment projecting; computer expert systems; production rules; clausal form; network models and methods.

References

1. Shorikov, A.F., Butsenko, E.V. (2017). *Prognozirovanie i optimizatsiia rezul'tata upravleniia investitsionnym proektirovaniem [Forecasting and optimization of investment project design management]*. Moscow, Lenand.
2. Burkal'tseva, D.D., Guk, O.A., Filatova, O.V., Bondar, A.P. (2017). *Napravleniia razvitiia menedzhmenta investitsii [Development trends in investment management]*. *Ekonomika i menedzhment v usloviakh nelineinoi*

- dinamiki [Economics and management under non-linear dynamics]*. St Petersburg, Peter the Great St Petersburg Polytechnic University, 615–664.
3. Krichevsky, M.L. (2018). *Prikladnye zadachi menedzhmenta [Applied tasks of management]*. Moscow, Kreativnaia ekonomika.
 4. Stanislavchik, E.N. (2009). *Biznes-plan: Upravlenie investitsionnymi proektami [Business plan. Investment project management]*. Moscow, Os'-89.
 5. Silbiger, S. (2012). *The Ten-Day MBA 4th Ed.: A Step-by-Step Guide to Mastering the Skills Taught In America's Top Business Schools*. HarperBusiness.
 6. Archibald, R. (2003). *Managing High-Technology Programs and Projects*. Wiley.
 7. Higgins, R. (2011). *Analysis for Financial Management*. McGraw-Hill Education
 8. Wilson, R., Watkins, JJ. (eds.) (2013). *Combinatorics: Ancient & Modern*. Oxford University Press.
 9. Andrew, A. (1983). *Artificial Intelligence*. Abacus, Tunbridge Wells.
 10. Werbos, P. (1974). *Beyond Regression: New Tools for Prediction and Analysis in the Behavioral Sciences*. Phd Thesis. Harvard University, Cambridge.
 11. Rummelhart, D.E., Hilton, G.E., Williams, R.J. (1986). Learning internal representations by error propagation. *Parallel Distributed Processing. Exploration of the Microstructure of Cognition*. Edited by D.E. Rumelhart, J.L. McClelland. MIT Press.
 12. Fukushima, K. (1980). Neocognitron: A Self-Organizing Neural Network for a Mechanism of Pattern Recognition Unaffected by Shift in Position. *Biological Cybernetics*, Vol. 36, No. 4, 193–202.
 13. Shorikov, A.F., Butsenko, E.V. (2013). Ekspertnaia sistema investitsionnogo proektirovaniia (Expert system of investment designing). *Prikladnaia informatika (Applied Informatics)*, No. 5 (47), 96–103.
 14. Shorikov, A.F., Butsenko, E.V. (2017). Network Models for Solving the Problem of Multicriterial Adaptive Optimization of Investment Projects Control with Several Acceptable Technologies. Application of Mathematics in Technical and Natural Sciences: 9th International Conference for Promoting the Application of Mathematics in Technical and Natural Sciences, AMiTaNS 2017, Vol. 1895. American Institute of Physics Inc.
 15. Iasnitsky, L.N. (2016). *Intellectual'nye sistemy [Intelligent Systems]*. Moscow, Laboratoriia znaniia.
 16. Shorikov, A.F., Butsenko, E.V., Krylov, V.G. (2016). Komp'iuternaia ekspertnaia sistema biznes-planirovaniia (Development of a computer expert system business planning). *Prikladnaia informatika (Applied Informatics)*, Vol. 11, No. 5 (65), 8–18.
 17. Shaitura, S.V. (2016). Neironnye seti [Neural networks]. *Intellectual'nye sistemy i tekhnologii [Intelligent systems and technologies]*. Burgas, Institut gumanitarnykh nauk, ekonomiki i informatsionnykh nauk (Institute of Humanities, Economics and Information Sciences).
 18. Luger, G. (2008). *Artificial Intelligence. Structures and Strategies for Complex Problem Solving*. Pearson.
 19. Abramov, V.L., Loginov, E.L., Chinaliev, V.U. (2018). *Ispol'zovanie elementov iskusstvennogo intellekta dlia optimizatsii kooperatsionnykh tsepochek proizvodstva dobavlennoi stoimosti v promyshlennosti v*

- usloviikh tsifrovoy ekonomiki: mirovoy opyt i perspektivy Rossii [Using elements of artificial intelligence for optimizing cooperation value chains in manufacturing under a digital economy. Global experience and prospects for Russia]. Moscow, Nauchnye tekhnologii, 287.*
20. Nesterov, G.D. et al. (2018). *Sovremennye informatsionnye tekhnologii v upravlenii slozhnymi sotsial'no-ekonomicheskimi sistemami [Modern information technologies and complex socio-economic systems management].* Krasnodar, Novatsiya.
 21. Sauter, V.L. (2012). *Decision Support Systems for Business Intelligence.* John Wiley & Sons.
 22. Callan, R. (1998). *The Essence of Neural Networks.* Prentice Hall.
 23. Emelyanov, V.A., Emelyanova, N. Iu. (2016). *Teoreticheskie osnovy postroeniya i obucheniya gibridnykh intellektual'nykh sistem [Theoretical foundations of building and training hybrid intelligent systems]. Aktual'nye voprosy tekhnicheskikh nauk: teoreticheskii i prakticheskii aspekty [Current problems of technical sciences: Theory and practice].* Ufa, Aeterna.
 24. Tim Jones, M. (2003). *AI Application Programming.* Charles River Media.
 25. Bartsev, S.I., Okhonin, V.A. (1986). *Adaptivnye seti obrabotki informatsii [Adaptive information processing networks].* Krasnoyarsk: Institute of Physics, Siberian branch of the USSR Academy of Sciences.

Information about the authors

Shorikov Andrey Fedorovich – Doctor of Physics and Mathematics, Professor, Department of Applied Mathematics, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia (620002, Ekaterinburg, Mira street, 19); e-mail: afshorikov@mail.ru.

Butsenko Elena Vladimirovna – Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Department of Business Informatics, Ural State University of Economics, Ekaterinburg, Russia (620144, Ekaterinburg, 8 March street, 62); e-mail: evl@usue.ru.

Tyulyukin Vladimir Aleksandrovich – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Department of Business Informatics, Ural State University of Economics, Department of Regional Economics, Innovative Business and Security, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia (620144, Ekaterinburg, 8 March street, 62); e-mail: tul@mail.ru.

Для цитирования: Шориков А.Ф., Буценко Е.В., Тюлюкин В.А. Интеллектуальная компьютерная система поддержки принятия решений для оптимизации управления процессами инвестиционного анализа и проектирования // Вестник УрФУ. Серия экономика и управление. 2018. Т. 17, № 4. С. 690–706. DOI: 10.15826/vestnik.2018.17.4.031.

For Citation: Shorikov A.F., Butsenko E.V., Tyulyukin V.A. Intelligent Computer System of Decision Support for Optimizing the Control of Investment Analysis Processes and Projecting. *Bulletin of Ural Federal University. Series Economics and Management*, 2018, Vol. 17, No. 4, 690–706. DOI: 10.15826/vestnik.2018.17.4.031.

Информация о статье: дата поступления 20 июня 2018 г.; дата принятия к печати 24 июля 2018 г.

Article Info: Received June 20, 2018; Accepted July 24, 2018.